

УДК 636.5:577.17

DOI: 10.33284/2658-3135-104-1-119

**Нормирование минерального питания цыплят-бройлеров (обзор)**

***К.В. Рязанцева, К.С. Нечитайло, Е.А. Сизова***

*Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (г. Оренбурге)*

**Аннотация.** Успех промышленного птицеводства в основном обусловлен генетическим потенциалом используемых кроссов и нормированным питанием. Это обстоятельство подталкивает учёных к оптимизации норм кормления, обеспечивающих высокую оплату корма продукцией. С введением высокопродуктивных кроссов появилась необходимость пересмотра потребности в питательных, а также биологически активных веществах. Что напрямую относится к минеральному питанию птицы. В настоящее время установлена физиологическая потребность птицы в лимитирующих микроэлементах, но продолжают мероприятия, сосредоточенные на нахождение норм гарантированных добавок для современных высокопродуктивных кроссов.

За 25 лет, с 1985 по 2010 год, нормы внесения минеральных элементов увеличились. Изменения нормирования микроэлементов в комбикормах коснулись Fe, Mn, Zn, Se.

Последние изменения по нормированию питания птицы в России были введены в 1992 году, в этом же году к перечню был добавлен Se. Нормы содержания Mn увеличились в 2 раза, Zn – в 1,4 раза, Fe – в 2,5 раза.

В итоге, согласно последним рекомендациям (2010 год), по данным ВНИТИП, в рационах цыплят-бройлеров производится нормирование 7 микроэлементов (Cu, I, Fe, Mn, Se, Zn, Co).

Основные компоненты комбикормов для птицы дефицитны по марганцу, цинку и йоду и менее дефицитны по меди, железу, кобальту. Система нормируемых добавок в корма была разработана для правильной сбалансированности рационов по минеральным элементам.

В статье представлен обобщённый материал, содержащий современную информацию отечественных и зарубежных авторов об исследованиях в области минерального питания сельскохозяйственной птицы. Несмотря на большое количество исследований в этой области, нормирование многих минеральных элементов остается неизменным.

**Ключевые слова:** цыплята-бройлеры, кормление, микроэлементы, нормирование питания, премикс, органические минералы.

UDC 636.5:577.17

**Broiler chickens mineral nutrition rationing (review)**

***Kristina V Ryazantseva, Kseniya S Nechitailo, Elena A Sizova***

*Federal Research Centre of Biological System and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Orenburg, Russia)*

**Summary.** The success of the commercial poultry industry is mainly due to the genetic potential of the crosses using and food ration. This circumstance pushes scientists to optimize feeding rates, which provide a high payment for feed products. With the introduction of highly productive crosses, it became necessary to revise the need for nutrients and biologically active substances. This also applies to the mineral nutrition of poultry. At present, the physiological need of birds for limiting microelements has been determined, but work continues to determine norms of guaranteed additives for modern highly productive crosses.

Over the 25 years from 1985 to 2010, the application rates of mineral elements have increased. Changes in the rationing of microelements in compound feeds affected Fe, Mn, Zn, Se.

The latest changes to the rationing of poultry nutrition in Russia were introduced in 1992, in the same year Se was added to the list. The norms of Mn content increased 2 times, Zn increased 1.4 times, Fe increased 2.5 times.

As a result, according to the latest recommendations (2010), according to Russian Research and Technological Institute of Poultry Farming, 7 microelements (Cu, I, Fe, Mn, Se, Zn, Co) are rationed in the diets of broilers.

The main components of compound feed for poultry are deficient in manganese, zinc and iodine and less deficient in copper, iron, cobalt. To balance the diets in terms of microelements, a system of guaranteed additives has been developed without taking into account their content in feed.

The article presents a generalized material containing modern information of Russian and foreign authors on research in the mineral nutrition of poultry field. Despite the large amount of research in this area, the standardization of many mineral elements remains unchanged.

**Key words:** broiler chickens, feeding, microelements, nutrition rationing, premix, organic minerals.

### **Введение.**

Несмотря на многолетнюю историю изучения и существенный багаж знаний о потребности животных в химических элементах, проблема нормирования минерального питания по-прежнему актуальна. По поисковому запросу, по ключевым словам «*mineral elements, chickens*», на платформе PubMed за последние 10 лет число работ по проблеме увеличилось более чем в 3 раза и превышает две тысячи.

Из 92 известных в природе химических элементов 81 встречается в тех или иных количествах (от микрограммов до граммов) в организме человека и животных, в составе различных тканей, ферментов, кофакторов (Шендеров Б.А. и др., 1997).

Основные физиолого-биохимические процессы живого организма невозможны без достаточного количества микроэлементов. Они входят в состав так называемых акцессорных веществ: дыхательных пигментов, витаминов, гормонов, ферментов и коферментов, участвующих в регуляции жизненных процессов, тем самым влияя на физиологические процессы. Микроэлементы оказывают влияние на направленность действия множества ферментов, а также на их активность (Георгиевский В.И. и др., 1979).

Минеральные элементы имеют важное значение во многих метаболических процессах организма, для правильного роста и развития всех животных (VanderKlis JD and Kemme PA, 2002). Они преимущественно действуют как катализаторы во многих ферментных и гормональных системах (Underwood EJ and Suttle NF, 1999). Участвуют в реализации иммунного ответа, развитии и целостности тканей и костей, защите от окислительного стресса, росте и делении клеток, оперении, в формировании аппетита (Nollet L et al., 2007).

Потребности животных в минеральных элементах, как и в большинстве питательных веществ, были выявлены на основе экспериментальных исследований. При определении требований основными критериями являются возраст, пол, масса тела, интенсивность производства, тип рациона и уровень потребления кормов (Dibner J, 2005; Dibner J et al., 2007).

Оптимальное содержание минеральных веществ в рационе – важнейшее требование полноценного питания, обеспечивающее высокую продуктивность и здоровье животных. Содержание минеральных элементов в питании часто не соответствует потребностям животных по нескольким причинам: во-первых, изменение генетического потенциала, увеличение продуктивности животных, во-вторых, низкое содержание микроэлементов в кормах (Guo R et al., 2001; Manangi MK et al., 2010).

В условиях прогрессивного птицеводства, при использовании новейших высокопродуктивных линий и кроссов птицы, необходим пересмотр системы нормирования рационов, а также методов, обеспечивающих результативное использование питательных веществ кормов при оптимальном протекании обменных процессов в организме (Егорова И.А. 2014).

Современное птицеводство наглядно демонстрирует, что невозможно повысить потенциальную продуктивность птицы только за счёт обеспечения потребностей в протеине и энергии. Для этого, безусловно, необходимо сбалансировать комбикорм по комплексу питательных и биологически активных веществ (Фисинин В.И. и др., 2009). Микроэлементы играют важную роль в процессах метаболизма, а именно их сбалансированность в рационе, так как в организме между самими микроэлементами существует определённое взаимодействие (Скальный А.В. и Рудаков И.А., 2004; Лебедев С.В. и др., 2009).

Существующие нормы химических элементов никак не принимают во внимание количество их депо в организме и интенсивность обменных процессов, а также возможность оказывать разностороннее влияние на активность ферментов, антибиотиков и пробиотиков. Следовательно, потенциал химических элементов, как компонентов кормовых добавок, реализуется не полностью (Лебедев С.В., 2009; Рахматуллин Ш.Г., 2008; Мирошников С.А. и др., 2009).

Система кормления, в первую очередь, рассчитана на обеспечение физиологической потребности птицы в обменной энергии, питательных и биологически активных веществах, сохранение её здоровья (Кочиш И.И. и др., 2004).

При нормировании рационов по минералам необходимо в первую очередь обратить особое внимание на кроссы цыплят-бройлеров, обладающих высокой энергией роста и хорошо развитой воспроизводительной функцией. Интенсификация птицеводства приводит к напряжению обмена веществ, повышенным эндогенным потерям и, как следствие, снижению содержания в организме птицы микро- и макроэлементов, витаминов и других биологически активных веществ (Кван О.В., 2007). Крупные потери связаны в птицеводстве с частичной минеральной недостаточностью, когда очевидные признаки заболевания отсутствуют, однако прослеживается снижение продуктивности, низкая поедаемость кормов, низкая резистентность к различным заболеваниям (Медведский В.А. и др., 2016).

Для проявления генетического потенциала и достижения значимых показателей продуктивности, в частности живой массы, необходимо создать благоприятные условия. Высокое содержание микроэлементов в кормах не может служить критерием их полноценности. Это связано с тем, что микроэлементы различных форм отличаются прочностью связей в составе органических и неорганических соединений и усвояемостью их в организме. Многие минеральные элементы, получаемые с кормом, усваиваются в организме животных и птицы лишь на 25-30% (Ухтверов М. и др., 2000).

Работа с высокопродуктивной птицей требует постоянного изучения и совершенствования норм обеспечения её сбалансированным рационом. Полноценное питание является главным аспектом для проявления максимальной продуктивности (Николаев С.И. и др., 2013). Кроме того, необходимо систематическое уточнение норм потребности в питательных и биологически активных веществах с учётом вида, породы, возраста, пола, физиологического состояния, направления продуктивности птицы и общей питательности рациона.

Современные кроссы цыплят-бройлеров имеют потенциальную, генетически заложенную в организме возможность ускоренного прироста, с живой массой при выводе от 44 г до 1,396-4,202 кг в возрасте 28 и 56 дней соответственно (Zuidhof MJ et al., 2014). Так, в экспериментах на бройлерах с применением полусинтетических рационов минимальная потребность в меди определена в 0,9 мг/кг комбикорма, а оптимальная – в 1,7 мг/кг (Grassman E et al., 1971; Георгиевский В.И. и Жарова Е.П., 1973; Scott A et al., 2018).

Однако генетический отбор привёл к непредвиденным последствиям (Dinev I et al., 2012; Shim MY et al., 2012; Duggan BM et al., 2015; González-Cerón F et al., 2015; Whitehead CC et al., 2003), которые являются наиболее распространёнными причинами выбраковки и поздней смертности в современном выращивании бройлеров (Knowles TG et al., 2008; Grandin T et al., 2010).

В настоящее время, независимо от энергетического уровня рациона птицы, нормирование идёт по 10 минеральным элементам, однако перечень этих веществ должен быть расширен на основании изучения мультисистемного статуса организма животных (Фисинин В.И. и др., 2011).

Первый анализ элементного состава по 25 химическим элементам был проведён в 2009 году. В ходе проведённых исследований получены новые данные о зависимости уровня питания от микроэлементного состава рациона цыплят-бройлеров (Рахматуллин Ш.Г., 2009). Исходя из этого, перспективными являются исследования в области нормирования минерального статуса организма цыплят-бройлеров.

#### **Нормирование минерального питания в РФ.**

К нормируемым микроэлементам в рационах птиц относят железо, медь, цинк, кобальт, марганец, йод и селен. Среди микроэлементов имеются большие количественные различия как в отношении их обычного содержания в живых тканях, так и в отношении их минимальных потребностей у разных животных (Медведский В.А., 2016).

Множество исследований посвящено железу. Оно является важным минералом для роста и развития животных, поскольку принимает участие во множестве биохимических процессов, жизненно важных для поддержания нормальной клеточной функции (Taschetto D et al., 2017; Abbasi M et al., 2015). Железо играет особо важную роль в развитии, так как необходимо для правильной миелинизации, а также является кофактором ферментов в синтезе нейромедиаторов (Pollitt E and Leibel RL, 1976; Reichmann et al., 1995). Этот элемент широко распространён в природе и присутствует во всех ингредиентах, используемых в кормлении птицы. Как и все другие микроминералы Fe добавляется для бройлеров через диетический премикс, обычно в виде солей и в основном в виде сульфата железа (Газеев А.Р. и др., 2012).

Наиболее значимым элементом, нормируемым в рационе сельскохозяйственной птицы, является цинк. Он занимает второе место среди микроэлементов по количественному содержанию в организме животных после железа (Кальницкий Б.Д., 1985). Абсорбция цинка происходит в верхнем отделе тонкого кишечника. Биологическая значимость цинка для организма птицы многообразна, так как более 160 ферментов содержат в своем составе этот микроэлемент (Bremner I and Beattie JH, 1995).

При нормировании минерального питания птицы важную значимость имеет биотический микроэлемент селену (Аксенов Р. и Трифонов Г., 2004). Недостаток или полное отсутствие селена в рационе приводит к появлению у птицы заболеваний, таких как беломышечная болезнь, токсическая дистрофия печени (гепатоз), энцефаломалация, экссудативный и геморрагический диатез, эмбриональная дистрофия, фиброз поджелудочной железы и др. (Шкарин В.В. и др., 2016). В 70-е годы XX века начали широко применять добавки неорганических и органических форм селена в корма сельскохозяйственной птицы, что позволило эффективно бороться с экссудативным диатезом, фиброзом поджелудочной железы, повысить выживаемость молодняка, яйценоскость кур (Голубкина Н.А. и Папазян Т.Т., 2006).

Содержание минеральных элементов в организме цыплят-бройлеров зависит от интенсивности процессов обмена веществ. На мобилизацию минеральных элементов оказывают большое влияние поступающие с кормом нутриенты, интенсивность их всасывания и выделения, распределение в организме. Наблюдается зависимость между элементами и процессами обмена, вследствие недостатка или избытка одних происходят изменения метаболических процессов во всём организме. Что впоследствии отражается на своевременном обнаружении отклонений в физиологическом состоянии птиц, связанных с дисбалансом химических элементов (Аликаев В.А., 1972).

Применяемые на практике рационы кормления получены эмпирическим путём, т. е. в условиях, когда животному предлагаются различные варианты кормления и по его продуктивной реакции судят о степени удовлетворения потребностей. Для высокопродуктивных животных, имеющих высокую напряжённость обмена, такой принцип нормирования никак не подойдёт. В таких случаях необходим подбор кормового рациона, основываясь на знаниях о метаболизме животных (Кальницкий Б.Д. и Харитонов Е.Л., 2004).

В России с 1930 года нормированием питания сельскохозяйственных животных, в том числе и птицы, занимается «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства» (ВНИТИП). Согласно нормам ВНИТИП, при балансировании рационов для сельскохозяйственных животных различных половозрастных групп учитывают следующие жизненно необходимые макроэлементы: кальций, фосфор, натрий. Точные потребности макроэлементов в рационе не нормируются, потому что практические диеты обычно адекватны или содержат лишь незначительный дефицит этих минералов (Фисинин В.И. и др., 2011).

За 25 лет, с 1985 по 2010 год, нормы внесения минеральных элементов увеличились (рис. 1). Изменения нормирования микроэлементов в комбикормах коснулись Fe, Mn, Zn, Se. Основные компоненты комбикормов для птицы дефицитны по марганцу, цинку и йоду и менее дефицитны по меди, железу, кобальту. С целью нормирования сбалансированных рационов, в частности минерального питания, была разработана и внедрена система гарантированных добавок без учёта содержания их в кормах. На обеспеченность птицы микроэлементами в первую очередь влияет структура рационов. При дефиците белков животного происхождения и увеличении содержания шротов в рационе происходит резкое возрастание фитиновой кислоты и фитатов. Данные вещества способны связывать химические элементы в неусвояемые соли. По этой причине нормы содержания микроэлементов в питании птицы были пересмотрены и впоследствии скорректированы (Калашников А.П. и др., 1985; Фисинин В.И. и др., 2011).

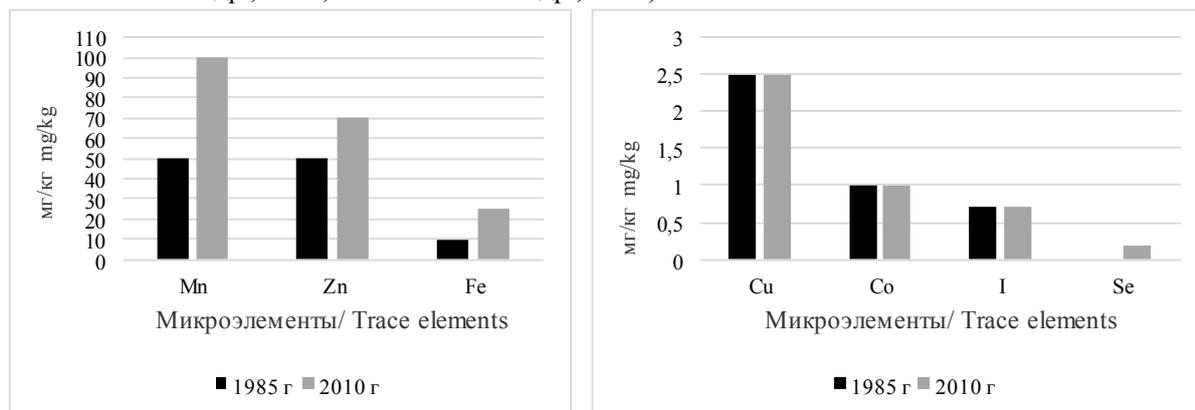


Рис. 1 – Уровень добавок микроэлементов в комбикорма для цыплят-бройлеров в 1985 г. и 2010 г.

Figure 1 – The level of micronutrient additives in compound feed for broiler chickens in 1985 and 2010

Несмотря на биохимическую разносторонность Se, не во всех странах мира его вносят в состав комбикормов и премиксов для птицы. До 1992 года в России не предусматривали гарантированных добавок селена в комбикорма для птицы (Калашников А.П. и др., 1985). Только сравнительно недавно отечественные учёные рекомендовали вводить в комбикорма для всех видов и возрастных групп птицы селен в количестве 0,2 мг/кг (Соболев А.И., 2013). Однако эта доза отвечает лишь минимальной физиологической потребности птицы в этом микроэлементе.

Действующие нормы добавок минеральных элементов в комбикорма для цыплят-бройлеров представлены в таблице 1 (Фисинин В.И. и др., 2011).

Таблица 1. Нормы добавок минеральных элементов в комбикорма для цыплят-бройлеров  
Table 1. Norms of additions of mineral elements to compound feed for broiler chickens

Макроэлементы, %/Macronutrients, %	
Ca, %	0,9-1,00
P, общий, %/ P total, %	0,70
Na, %	0,20
Микроэлементы, мг/кг/Trace elements, mg/kg	
Cu, мг/ Cu, mg	2,5
I, мг/ I, mg	0,7
Fe, мг/ Fe, mg	25
Mn, мг/ Mn, mg	100
Se, мг/ Se, mg	0,2
Zn, мг/ Zn, mg	70
Co, мг/ Co, mg	1,0

В связи с изложенным, так называемые средние нормы потребности имеют лишь относительную ценность и должны рассматриваться как ориентировочные в каждом необходимом случае.

#### Нормирование питания за рубежом.

В США уровень включения микроэлементов в рационах птицы регламентируются с учётом рекомендаций National Research Council (NRC) (табл. 2).

Таблица 2. Потребности бройлеров в питательных веществах по данным NRC 1994 г.  
Table 2. Nutrient requirements of broilers according to 1994 NRC

Элемент/Element	США/USA		
	от 0 до 3 недель/ from 0 to 3 weeks	от 3 до 6 недель/ from 3 to 6 weeks	от 6 до 8 недель/ 6 to 8 weeks
<b>Макроэлементы/ Macronutrients</b>			
Ca, %	1,00	0,90	0,80
Cl, %	0,20	0,15	0,12
Mg, мг/ Mg, mg	600	600	600
P, нефитатный, %/ P, nonphytate, %	0,45	0,35	0,30
K, %	0,30	0,30	0,30
Na, %	0,20	0,15	0,12
<b>Микроэлементы/ Trace elements</b>			
Cu, мг/ Cu, mg	8	8	8
I, мг/ I, mg	0,35	0,35	0,35
Fe, мг/ Fe, mg	80	80	80
Mn, мг/ Mn, mg	60	60	60
Se, мг/ Se, mg	0,15	0,15	0,15
Zn, мг/ Zn, mg	40	40	40

При формировании сбалансированного рациона учитывают содержание следующих макроэлементов: кальций, магний, натрий, калий, хлор, фосфор. К нормируемым микроэлементам относят медь, йод, железо, марганец, селен, цинк.

Потребности птицы в питательных веществах NRC была эталонной для исследовательских сообществ внутри страны и за рубежом с момента первого опубликованного издания в 1944 году. Данные послужили для составления рационов кормления птицы. Научные публикации, использованные для рекомендаций по аминокислотам и фосфору в последнем NRC, в настоящее время, в лучшем случае, относятся к 1991 году, а в худшем – к 1947 году.

Большая часть информации, даже в недавних документах NRC, на самом деле основана на исследованиях 1960-х и 1970-х годов, в течение которых птицы и управление ими существенно различались. Из-за этого рекомендации NRC могут не отражать потребности современных пород птицы, а уровни включения микроэлементов часто превышают рекомендации NRC (Leeson S, 2005; National Research Council, 1994).

Во всём мире по-прежнему существуют различия в рекомендациях по конкретным микроэлементам (табл. 3) (Navidshad B et al., 2019).

Таблица 3. Рекомендации по микроэлементам Cobb 500 для бройлеров в 2008 и 2013 гг. (мг/кг)  
Table 3. Recommendations for Cobb 500 micronutrients for broilers in 2008 and 2013 (mg/kg)

Микроэлемент/ Trace elements	0-10 дней/ 0-10 days		11-22 дней / 11-22 days		23-42 дней/ 23-42 days	
	2008	2013	2008	2013	2008	2013
Fe	40	40	40	40	40	40
Cu	15	15	15	15	15	15
Mn	100	100	100	100	100	100
Zn	100	100	100	100	100	100
Se	0,3	0,35	0,3	0,35	0,3	0,35
I	1	1	1	1	1	1

В племенных хозяйствах присутствуют кроссы мясной птицы из четырёх стран мира: «Росс» (TysonFoods, США), «Арбор Айкрес» (Aviagen, Великобритания), «Кобб» (Cobb-Vantress/TysonFoods, США/Великобритания), «Гибро» (HybroHendrixPoultryBreeders/TysonFoods, США/Нидерланды), «ХаббардИза» (Habbard, Франция), «Пьюрлайн» (PureLineGenetics, США).

Таблица 4. Рекомендации по содержанию микроэлементов для бройлеров Ross (308) в 2007 и 2014 гг. (мг/кг)

Table 4. Recommendations for the content of micronutrients for Ross (308) broilers in 2007 and 2014 (mg/kg)

Микроэлементы/ Trace elements	0-10 дней/ 0-10 days		11-22 дней/ 11-22 days		23-42 дней/ 23-42 days	
	2007	2014	2007	2014	2007	2014
Fe	40	20	40	20	40	20
Cu	16	16	16	16	16	16
Mn	120	120	120	120	120	120
Zn	100	110	100	110	100	110
Se	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
I	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25

Сводка конкретных рекомендаций для различных гибридов бройлеров (JokicŽ et al., 2004) приведена в таблице 5. Рекомендуемые количества микроэлементов различаются в зависимости от литературных источников. Отклонения возникают из-за разного количества микроэлементов в почве и, следовательно, в растениях и кормовых материалах.

Таблица 5. Рекомендации по микроэлементам для полной кормовой смеси по отдельным кроссам птиц, (мг/кг)

Table 5. Recommendations for micronutrients for complete feed mixture for individual crosses of birds, (mg/kg)

Микроэлементы/ Trace elements	Arbor Acres	Hybro G	Hybro PN	Cobb 500	Ross	Hubbard
Mn	100,0	100,0	100,0	100,0	120,0	80,0
Zn	75,0	80,0	80,0	100,0	110,0	80,0
Fe	100,0	50,0	50,0	40,0	20,0	60,0
Cu	8,0	12,0	12,0	15	16,0	10,0
Co	0,00	0,00	0,00	0,00	1,0	1,0
I	0,45	1,0	1,00	1,00	1,25	1,0
Se	0,30	0,20	0,20	0,35	0,3	0,20

#### Премикс и его компоненты.

Помимо обеспечения животных минералами необходимо внедрить соответствующую технологию производства минеральных премиксов (Adamovic M et al., 1997). Это особенно важно, так как недостаточное количество микроэлементов вызовет дефицит и неблагоприятные эффекты в выражении репродуктивного потенциала и сохранении здоровья животных.

Отдельно представлены крупнейшие производители премиксов в РФ: Завод премиксов № 1, Лужский комбикормовый завод (ЛККЗ), ООО «ВитОМЭК», DSM NutritionalProducts, ООО "Грау-Нутришен Воронеж", АО «Капитал-Прок», АО «Витасоль», AVNutriSmart, ЗАО «Био мид» и др.

Производство премиксов для птиц в России находится на первом месте в производстве премиксов по видам животных. Согласно анализу данного рынка, изображённому на рисунке 2, можно сделать вывод: в промежуток с 2013 по 2016 год объём выпускаемой продукции увеличился на 39 % (Маркетинговое исследование..., 2017).

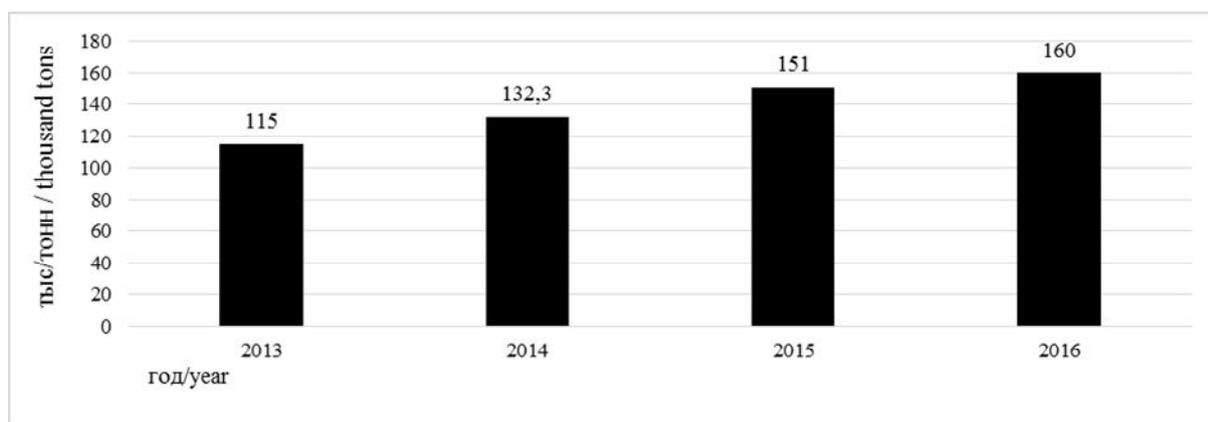


Рис 2 – Производство премиксов для птиц в России в 2013-2016 гг. (тыс. тонн)  
Figure 2 – Production of premixes for birds in Russia in 2013-2016 (thousand tons)

Добавление большего количества некоторых микроэлементов по сравнению с оптимальными потребностями или допустимыми количествами может иметь множество негативных последствий и, в конечном итоге, токсический исход. Это особенно верно в отношении тяжёлых металлов (например, свинца, кадмия и ртути).

Проблема определения оптимальной концентрации микроэлементов заключается в их взаимодействии с каждым из них, в результате чего увеличение одного микроэлемента может вызвать дефицит другого. Натуральные питательные вещества – лучший способ снабдить животных микроэлементами. Они представляют собой форму, которая содержится в растениях, и имеют наибольшую доступность и использование.

#### **Формы минеральных элементов, используемых в питании.**

*Неорганические соединения.* Традиционно элементы включают в рационы птицы в виде неорганических солей, таких как карбонаты, сульфаты и оксиды, чтобы обеспечить уровень минералов, который позволяет птице реализовать свой генетический потенциал, для роста и предотвращения клинической недостаточности (Sirri F et al., 2016; Bao YM et al., 2007; Inal F et al., 2001). Неорганические микроэлементы не стабильны, быстро диссоциируют в желудочно-кишечном тракте и взаимодействуют с другими соединениями, что приводит к их потере ещё до абсорбции (Aksu T et al., 2011 a,b). Однако такие неорганические формы имеют тенденцию к диссоциации при воздействии низкого pH в верхних отделах пищеварительного тракта, что делает их восприимчивыми к антагонизму некоторых кормов и питательных веществ, что снижает их доступность для использования и, следовательно, увеличивает их выведение (Viriden WS et al., 2003; Pesti GM et al., 1996).

Антагонистические взаимодействия между минералами являются диссоциацией неорганических солей при сравнительно невысоком pH верхних отделов желудочно-кишечного тракта. Когда минерал достигает более высокого pH в дистальных отделах кишечного тракта, он может устанавливать связь со многими минералами, питательными веществами и непитательными компонентами пищеварительного тракта, такими как фитат и клетчатка, что делает его нерастворимым. Нерастворимые формы минералов выводятся из организма (Dibner JJ et al., 2007).

Перспективным является использование в животноводстве добавок металлов в ультратонкой форме (Сизова Е.А. и Нечитайло К.С., 2020).

*Органические соединения.* Особое внимание стоит уделить внутрикомплексным соединениям, содержащим циклические группировки органических молекул, так называемые хелатные соединения. Образование хелатов происходит в пищеварительном тракте во время пищеварения между переходными металлами (Fe, Zn, Cu, Mn, Co, Mo) и органическими соединениями, структурами которых являются электронодонорные атомы N, O и S.

Органические микроэлементы представляют собой хелатные или комплексные формы минералов с органическими соединениями, такими как аминокислоты, белок или органическая кислота. Органические микроэлементы более стабильны благодаря своей органически связанной структуре, лучшему перевариванию и всасыванию в кишечнике (Ammerman CB et al., 1998), что в свою очередь увеличивает их биодоступность и усвояемость (Bhojar A et al., 2015) и, следовательно, снижает фекальное и мочеиспускание (Wang G., 2019). Органические микроэлементы должны сопротивляться диссоциации в зерне, преджелудках и мускуле, позволяя таким образом доставить неповрежденный комплекс к абсорбирующему эпителию тонкой кишки (Leeson S and Summers JD, 2001).

Кормление высококачественными хелатными микроэлементами или другими классами органических микроэлементов может обеспечить животное более биодоступными формами минералов (Świątkiewicz et al., 2014). Когда скармливаются хелатные минералы с высокой биодоступностью, они лучше снабжают биохимические системы клеток животного, что даёт широкий спектр преимуществ (Куршакова Е.И., 2014).

Использование определённых хелатных микроэлементов улучшает усвоение минералов и иммунный ответ, управление окислительным стрессом, развитие и прочность тканей и костей. Кроме того, более высокая биодоступность этих микроэлементов позволяет производителю достигать аналогичных или улучшенных характеристик при пониженных уровнях включения микроэлементов (Richards JD et al., 2010).

Органические формы микроэлементов дают возможность получать продукты питания, которые широко востребованы среди потребителей. Во многих развитых странах (Европа и США) около 70 % животноводческих компаний используют органические соединения микроэлементов (биоплексы) в кормлении сельскохозяйственной птицы.

На отечественном рынке преобладают органические формы микроэлементов производства известных зарубежных фирм Alltech и Biochem.

Alltech производит такие продукты как: *Сел-Плекс* – органическая форма селена, которая лучше усваивается и накапливается в тканях в связи со сходством метионина и селенметионина, которые взаимозаменяемы в процессе синтеза протеина (Шацких Е.В. и Рогозинникова И.В., 2008). *Биоплекс* – органические микроэлементы в форме, наиболее близкой к природной.

Biochem производит *E.C.O.Trace*, где Zn, Mn, Cu, Fe находятся в соединении с наименьшей аминокислотой глицина (хелатом глицина), стабильная комплексная форма хелата, состоящая из глицина и соответствующих ионов металла (Zn, Mn, Cu, Fe), защищает ион металла от его высвобождения в среде с низким значением pH. Таким образом, это помогает снизить возможность возникновения антагонизма в пищеварительном тракте.

В России производят хелатно-комплексные соединения металлов: меди, кобальта, марганца, цинка, железа, кремния и других с биологическими лигандами. В зависимости от лиганда хелатные соединения «приобретают» определённые названия. К ним относится ОМЭК (органический микроэлементный комплекс) – является источником биодоступного марганца, меди, железа и цинка на основе L-аспарагиновой аминокислоты (аспарагинаты), это соединения железа, марганца, цинка, меди и кобальта с аспарагиновой кислотой. ОМЭК – новая кормовая добавка, используемая для обогащения и балансирования рационов сельскохозяйственных животных и птицы по микроэлементам (Шейко И.П. и др., 2015; Лютых О., 2020).

Применение различного рода минеральных добавок даёт положительный результат лишь в том случае, если они поступают в строго определённом количестве и соотношении, соответствующем потребности в них организма птицы (Медведский В.А. и др., 2016).

Кормление сельскохозяйственной птицы рационами с высоким содержанием питательных веществ и минералов для максимальной продуктивности может привести к чрезмерному вымыванию минералов (Aksu T et al., 2011a,b).

Сведения о механизмах всасывания и метаболизма микроэлементов в организме человека и животных, так же, как и достижения в сфере биотехнологии производства природных минералов, дают возможность допустить, что в перспективе использование их неорганических форм будет сведено к минимуму. Органические формы микроэлементов – естественное решение проблемы минерального питания сельскохозяйственных животных, в том числе и птицы, и сегодня ему нет альтернативы (Лютых О., 2020).

#### **Выводы.**

Коррекция минерального питания является одним из важнейших направлений современной сельскохозяйственной биологии и ветеринарии. Стратегия кормления воздействует на эффективное обеспечение птицы микро- и макроэлементами. Эссенциальные нутриенты, благодаря своей роли регуляторов метаболизма, влияют на функционирование иммунной системы цыплят разных возрастов и являются значимым фактором обеспечения резистентности к инфекциям.

Количественная оценка потребностей в микроэлементах сельскохозяйственной птицы чрезвычайно сложна, а методы и модели, используемые в настоящее время, могут не соответствовать метаболическим функциям организма.

Требования к микроэлементам, нормируемым в питании сельскохозяйственной птицы, нуждаются в постоянном мониторинге т. к. генетические достижения приводят к усовершенствованию имеющихся и появлению новых высокопродуктивных кроссов.

За 25 лет, с 1985 по 2010 год, нормы внесения минеральных элементов увеличились. Изменения нормирования микроэлементов в комбикормах коснулись Fe, Mn, Zn, Se.

Последние изменения по нормированию питания птицы в России были введены в 1992 году, в этом же году к перечню был добавлен Se. Нормы содержания Mn увеличились в 2 раза, Zn – в 1,4 раза, Fe – в 2,5 раза.

В итоге, согласно последним рекомендациям (2010 год), по данным ВНИТИП, в рационах цыплят-бройлеров производится нормирование 7 микроэлементов (Cu, I, Fe, Mn, Se, Zn, Co).

Следовательно, необходимо создать специальную и точную базу данных о потребностях в минералах для разных кроссов цыплят-бройлеров при различных условиях выращивания, включая факторы выращивания (клеточная система и пол подстилки), экологические стрессы (тепловой стресс против холодного стресса) и диеты, дополненные различными источниками микроэлементов.

**Исследования выполнены в соответствии с планом НИР на 2021-2023 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0761-2019-0005)**

#### **Литература**

1. Аксенов Р., Трифонов Г. Влияние селеносодержащих препаратов на репродуктивные качества петухов // Птицеводство. 2004. № 3. С. 4-5. [Aksenov R, Trifonov G. Vliyanie selenosoderzhashchikh preparatov na reproduktivnyye kachestva petukhov. Ptitsevodstvo. 2004;(3):4-5. (In Russ)].
2. Аликаев В.А. Наиболее эффективные смеси микроэлементов для сельскохозяйственных птиц // Животноводческие науки (Болгария). 1972. № 9. С. 11-12. [Alikaev VA. Naibolee effektivnyye smesi mikroelementov dlya sel'skokhozyaistvennykh ptits. Zhivotnovodcheskie nauki (Bolgariya). 1972;(9):11-12. (In Russ)].
3. Биологически активные и кормовые добавки в птицеводстве: метод. рекомендации / В.И. Фисинин, Т.М. Околелова, И.А. Егоров и др. Сергиев Посад: ВНИИТИП, 2009. 99 с. [Fisinin VI, Okolelova TM, Egorov IA et al. Biologicheski aktivnyye i kormovye dobavki v ptitsevodstve: metod. rekomendatsii. Sergiev Posad: VNIITIP; 2009:99 p. (In Russ)].

4. Биологические основы минерального питания сельскохозяйственной птицы / В.А. Медведский, М.В. Базылев, Л.П. Большакова, Х.Ф. Мунаяр // Научное обозрение. Биологические науки. 2016. № 2. С. 93-108. [Medvedsky VA, Bazylev MV, Bolshakova LP, Munayar HF. Biological bases of mineral nutrition poultry. Scientific Review. Biological Sciences. 2016;(2):93-108. (*In Russ*)].
5. Влияние различной структуры рациона на продуктивные качества кур / С.И. Николаев, А.К. Карапетян, Ю.В. Сошкин, О.Е. Кротова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2013. № 1(29). С. 107-111. [Nikolaev SI, Sohkin YuV, Karapetyan AK, Krotova OE. Different structures diet influence on laying hens productive quality. Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex. 2013;1(29):107-111. (*In Russ*)].
6. Георгиевский В.И., Анненков Б.Н., Самохин В.Т. Минеральное питание животных. М.: Колос, 1979. 471 с. [Georgievskii VI, Annenkov BN, Samokhin VT. Mineral'noe pitanie zhivotnykh. Moscow: Kolos; 1979:471 p. (*In Russ*)].
7. Георгиевский В.И., Жарова Е.П. Первый Всесоюзный симпозиум по минеральному обмену и его регуляции у сельскохозяйственных животных. Боровск, 1973. С. 44 [Georgievskiy VI, Zharova EP. Pervyi Vsesoyuznyi simpozium po mineral'nomu obmenu i ego regulyatsii u sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh. Borovsk; 1973: 44 (*In Russ*)].
8. Голубкина Н.А., Папазян Т.Т. Селен в питании: растения, животные, человек: монография. М.: Белый город, 2006. 254 с. [Golubkina NA, Papazyan TT. Selenvpitanii: rasteniya, zhivotnyye, chelovek: monografiya. Moscow: Belyigorod; 2006:254 p. (*In Russ*)].
9. Егорова И.А. Современные подходы к кормлению птицы // Птицеводство. 2014. № 4. С. 11-16. [Egorova IA. Modern trends in poultry nutrition. Ptitsevodstvo. 2014;4:11-16. (*In Russ*)].
10. Кальницкий Б.Д. Минеральные вещества в кормлении животных: монография. Л.: Ленинград.отд. «Агропромиздат». 1985. 207 с. [Kal'nitskii BD. Mineral'nye veshchestva v kormlenii zhivotnykh: monografiya. Leningrad: Leningrad.otd. «Agropromizdat»; 1985:207 p. (*In Russ*)].
11. Кальницкий Б.Д., Харитонов Е.Л. К вопросу о нормировании аминокислотного питания молочного скота // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2004. № 3. С. 24-26. [Kalnitsky BD, Kharitonov YeL. To a problem on a setting of an amino acids feeding of milk cows. Doklady Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk. 2004;3:24-26. (*In Russ*)].
12. Кван О.В. Действие пробиотических препаратов на основе культур *Bacillus subtilis* и *Bifidobacterium longum* на продуктивность, обмен веществ и минеральный статус организма кур-несушек: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Оренбург, 2007. 23 с. [Kwan OV. Deistvie probioticheskikh preparatov na osnove kul'tur *Bacillus subtilis* I *Bifidobacterium longum* na produktivnost', obmen veshchestv i mineral'nyi status organizma kur-nesushek: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Orenburg; 2007:23 p. (*In Russ*)].
13. Кочиш И.И., Петраш М.Г., Смирнов С.Б. Птицеводство: учеб. пособие. М.: Колос, 2004. 407 с. [Kochish II, Petrash MG, Smirnov SB. Ptitsevodstvo: ucheb. posobie. Moscow: Kolos; 2004:407 p. (*In Russ*)].
14. Куршакова Е.И. Применение сорбентов для профилактики токсикозов и повышения продуктивности животных: автореф. дис... канд. биол. наук. Казань, 2014. 23 с. [Kurshakova EI. Primenenie sorbentov dlya profilaktiki toksikozov I povysheniya produktivnosti zhivotnykh: avtoref. dis... kand. biol. nauk. Kazan'; 2014:23 p. (*In Russ*)].
15. Лебедев С.В. Элементный статус, обмен энергии и продуктивность кур в условиях различной нутриентной обеспеченности: дис. ... д-ра биол. наук. Оренбург, 2009. 346 с. [Lebedev SV. Elementnyistatus, obmen energii i produktivnost' kur v usloviyakh razlichnoi nutrientnoi obespechennosti. [dissertation]. Orenburg; 2009:346 p. (*In Russ*)].
16. Лютых О. Большая роль микроэлементов // Эффективное животноводство. 2020. № 4(161). С. 95-99. [Lyutykh O. Bol'shayarol' mikroelementov. Effektivnoe zhivotnovodstvo. 2020;4(161):95-99. (*In Russ*)].
17. Маркетинговое исследование: Рынок премиксов за 2013-2016 гг. / ОГАУ «Инновационно-консультационный центр агропромышленного комплекса Белгородской области». Белгород, 2017. 31 с.

[Marketingovoe issledovanie: Rynok premikov za 2013-2016 gg. OGAU «Innovatsionno-konsultatsionnyi tsentr agropromyshlennogo kompleksa Belgorodskoi oblasti». Belgorod; 2017:31 p. (*In Russ*)].

18. Минеральный статус организма животных на фоне различной нутриентной обеспеченности / С.В. Лебедев, Ш.Г. Рахматуллин, А.И. Гречушкин, Е.А. Сизова // Вестник Оренбургского государственного университета. 2009. № 6. С. 201-203. [Lebedev SV, Rakhmatullin ShG, Grechushkin AI, Sizova EA. Mineral status of animal organism on the background of different nutrient provision. Vestnik Orenburg State University. 2009;6:201-203. (*In Russ*)].

19. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справ. пособие / А.П. Калашников, Н.И. Клейменов, В.Н. Баканов и др. М.: Агропромиздат, 1985. 352 с. [Kalashnikov AP, Kleimenov NI, Bakanov VN, et al. Normy i ratsiony kormleniya sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh: sprav. posobie. Moscow: Agropromizdat; 1985:352 p. (*In Russ*)].

20. Организация полноценного кормления сельскохозяйственных животных с использованием органических микроэлементов / И.П. Шейко, В.Ф. Радчиков, А.И. Саханчук, С.А. Линкевич, Е.Г. Кот, С. Воронин, Д. Воронин, В. Фесина // Зоотехния. 2015. № 1. С. 14-17. [Sheiko IP, Radchikov VF, Sakhanchuk AI, Linkevich SA, Kot EG, Voronin S, Voronin D, Fesina V. Organization of complete feeding of farm animals using organic microelements. Zootechniya. 2015;(1):14-17. (*In Russ*)].

21. Применение микроэлементов селена и железа в птицеводстве / А.Р.Газеев, Б.Ф. Тамимдаров, Л.Р. Гатауллина, И.И. Усольцева, А.С. Гасанов, М.Ш. Алиев // Учёные записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2012. № 210. С. 41-45. [Gazeev AR, Tamimdarov BF, Gataullina LR, Usoltseva II, Gasanov AS, Aliev MSh. Application of microelements iron and selenium in poultry. Scientific notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine. 2012;210:41-45. (*In Russ*)].

22. Пробиотики и функциональное питание / Б.А. Шендеров, М.А. Манвелова, Ю.Б. Степанчук, Н.Э. Скиба // Антибиотики и химиотерапия. 1997. № 7(42). С. 30-34. [Shenderov BA, Manvelova MA, Stepanchuk YB, Skiba NE. Probiotics and functional food. Antibiotics and chemotherapy. 1997;7(42):30-34. (*In Russ*)].

23. Проблемные вопросы сочетанности кишечных инфекций / В.В. Шкарин, О.А. Чубукова, А.С. Благодравова, А.В. Сергеева // Журнал инфектологии. 2016. Т. 8. № 4. С. 11-19. [Shkarin VV, Chubukova OA, Blagonravova AS, Sergeeva AV. Problematic issues of combined intestinal infections. Journal Infectology. 2016;8(4):11-19. (*In Russ*)]. doi: 10.22625/2072-6732-2016-8-4-11-19

24. Рахматуллин Ш.Г. Влияние нутриентной обеспеченности рациона на минеральный статус и продуктивность цыплят-бройлеров // Микроэлементы в медицине. 2008. Т. 9. № 1-2. С. 27-28. [Rakhmatullin ShG. Vliyanie nutrientnoi obespechennosti ratsiona na mineral'nyi status i produktivnost' tsyplyat-broilerov. Trace Elements in Medicine. 2008;9(1-2):27-28. (*In Russ*)].

25. Рахматуллин Ш.Г. Обмен веществ и элементный статус цыплят-бройлеров при различном уровне обменной энергии и содержании микроэлементов в рационе: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Оренбург, 2009. 23 с. [Rakhmatullin ShG. Obmen veshchestv i elementnyi status tsyplyat-broilerov pri razlichnom urovne obmennoi energii i soderzhaniimikroelementovvratsione: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Orenburg; 2009:23 p. (*In Russ*)].

26. Сизова Е.А., Нечитайло К.С. Сравнительная оценка влияния ультрадисперсных форм меди и цинка на переваримость сухого вещества корма *in vitro* // Животноводство и кормопроизводство. 2020. № 103(1). С. 121-133. [Sizova EA, Nechitailo KS. Comparative assessment of the effect of ultrafine forms of copper and zinc on the digestibility of dry matter *in vitro*. Animal Husbandry and Fodder Production. 2020;103(1):121-133. (*In Russ*)]. doi: 10.33284/2658-3135-103-1-121

27. Скальный А.В., Рудаков И.А. Биоэлементы в медицине: учеб. пособие. М.: Издат. дом «ОНИКС 21 век», 2004. 272 с. [Skal'nyi AV, Rudakov IA. Bioelementy v meditsine: ucheb. posobie. Moscow: Izdat. dom «ONIKS 21 vek»; 2004:272 p. (*In Russ*)].

28. Соболев А.И. Разработка норм введения селена в комбикорма для птицы мясного направления продуктивности: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Курск, 2013. 42 с. [Sobolev AI. Raz-

rabotka normv vedeniya selena v kombikorma dlya ptitsy myasnogo napravleniya produktivnosti: avtoref. dis. ... d-ra s.-kh. nauk. Kursk; 2013:42 p. (*In Russ*).

29. Ухтверов М., Кузнецова А., Ульянова Ю. Поступление микроэлементов в организм цыплят-бройлеров // Птицеводство. 2000. № 2. С. 24-25. [Ukhtverov M, Kuznetsova A, Ul'yanova Yu. Postuplenie mikroelementov v organizm tsyplyat-broilerov. Ptitsevodstvo. 2000;(2):24-25. (*In Russ*).

30. Фисинин В.И., Егоров И.А., Драганов И.Ф. Кормление сельскохозяйственной птицы: учеб. пособие. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2011. 337 с. [Fisinin VI, Egorov IA, Draganov IF. Kormlenie sel'skokhozyaistvennoi ptitsy: ucheb posobie. Moscow: GEOTAR-Media; 2011:337 p. (*In Russ*).

31. Шацких Е.В., Рогозинникова И.В. Продуктивность цыплят-бройлеров при использовании в предстартовом рационе органических форм микроэлементов // Аграрный вестник Урала. 2008. № 11(53). С. 83-84. [Shatskikh EV, Rogozinnikova IV. Efficiency of chickens-broilers at use in a prestarting diet of organic forms of microcells. Agrarian Bulletin of the Urals. 2008;11(53):83-84. (*In Russ*).

32. Элементный статус организма цыплят бройлеров на фоне различной концентрации обменной энергии в рационе / С.А. Мирошников, С.В. Лебедев, Е.А. Сизова, Ш.Г. Рахматуллин // Проблемы биологии продуктивных животных. 2009. № 3. С. 63-68. [Miroshnikov SA, Lebedev SV, Sizova EA, Rakhmatullin ShG. The effect of various level of metabolizable energy intake on mineral status in broiler chickens. Problems of Biology of Productive Animals. 2009;3:63-68. (*In Russ*).

33. Abbasi M, Zaghari M, Ganjkanlo M, Khalaji S. Is dietary iron requirement of broiler breeder hens at the late stage of production cycle influenced by phytase supplementation? Journal of Applied Animal Research. 2015; 43(2):166-176. doi: 10.1080/09712119.2014.928634

34. Adamovic M, Jovanovic R, Stoicevic LJ, Radovanovic M, Sretenovic LJ, Pavlicevic A, Vukic-Vranjes M. Rezultati korišćenja organs kivezanih mikroelemenat auishranigoveda. VII Simpozijum Tehnologija Stočne Hrane. 1997:49-66.

35. Aksu T, Aksu MI, Yoruk MA, Karaoglu M. Effects of organically- complexed minerals on meat quality in chickens. British Poultry Science. 2011a;52(5):558-563. doi: <https://doi.org/10.1080/00071668.2011.606800>

36. Aksu T, Özsoy B, Aksu DS, Yörük MA, Gül M. The effects of lower levels of organically complexed zinc, copper and manganese in broiler diets on performance, mineral concentration of tibia and mineral excretion. Kafkas Univ. Vet Fak Derg. 2011b;17(1):141-146. doi: 10.9775/kvfd.2010.2735

37. Ammerman CB, Henry PR, Miles RD. Supplemental organically-bound mineral compounds in livestock nutrition. In: Garnsworthy PC, Wiseman J, editors. Recent Advances in Animal Nutrition. UK, Nottingham: Nottingham University Press; 1998. p. 67-91.

38. Bao YM, Choct M, Iji PA, Bruerton K. Effect of organically complexed copper, iron, manganese, and zinc on broiler performance, mineral excretion, and accumulation in tissues. J Appl Poult Res. 2007;16(3):448-455. doi: <https://doi.org/10.1093/japr/16.3.448>

39. Bhoyar A. High quality trace minerals support improved breeder hen longevity. Int Hatch. Pract. 2015;29(7):25-27.

40. Bremner I, Beattie JH. Copper and zinc metabolism in health and disease: speciation and interactions. Proceedings of the Nutrition Society. 1995;54(2):489-499. doi: 10.1079/pns19950017

41. Dibner J. Early nutrition of zinc and copper in chicks and poults: impact on growth and immune status. In: Zimmermann N, editor. Proceedings of the 3rd Mid-Atlantic Nutrition Conference; 2005 March 23-24; Timonium, Maryland: University of Maryland; 2005. p. 23-32.

42. Dibner JJ, Richards JD, Kitchell ML, Quiroz MA. Metabolic challenges and early bone development. Journal of Applied Poultry Research. 2007;16(1):126-137. doi: <https://doi.org/10.1093/japr/16.1.126>

43. Dinev I, Denev SA, Edens FW. Comparative clinical and morphological studies on the incidence of tibial dyschondroplasia as a cause of lameness in three commercial lines of broiler chickens. Journal of Applied Poultry Research. 2012;21(3):637-644. doi: <https://doi.org/10.3382/japr.2010-00303>

44. Duggan BM, Hocking PM, Schwarz T, Clements DN. Differences in hindlimb morphology of ducks and chickens: effects of domestication and selection. Genet Sel Evol. 2015;47:88. doi: 10.1186/s12711-015-0166-9

45. González-Cerón F, Rekaya R, Aggrey SE. Genetic analysis of bone quality traits and growth in a random mating broiler population. *Poult Sci.* 2015;94(5):883-889. doi: <https://doi.org/10.3382/ps/pev056>
46. Grandin T. Auditing animal welfare at slaughter plants. *Meat Sci.* 2010;86(1):56-65. doi: 10.1016/j.meatsci.2010.04.022
47. Grassman E, Kirchgessner M, Hampel G, Roth-maier DA. Copper metabolism in growing chickens. *Archiv fur Geflugelkunde.* 1971;35(2):67-71.
48. Guo R, Henry PR, Holwerda RA, Cao J, Littell RC, Miles RD, Ammerman CB. Chemical characteristics and relative bioavailability of supplemental organic copper sources for poultry. *Journal of Animal Science.* 2001;79(5):1132-1141. doi: 10.2527/2001.7951132x
49. Inal F, Coskun B, Gülsen N, Kurtoglu V. The effects of withdrawal of vitamin and trace mineral supplements from layer diets on egg yield and trace mineral composition. *Br Poult. Sci.* 2001;42(1):77-80. doi: 10.1080/713655024
50. Jokic Ž, Kovecin S, Joksimovic-Todorovic M. *Ishranaživine.* Poljoprivrednifakultet, Beograd: University Press; 2004.
51. Knowles TG, Kestin SC, Haslam SM, Brown SN, Green LE, Butterworth A, Pope SJ, Pfeiffer D, Nicol CJ. Leg disorders in broiler chickens: prevalence, risk factors and prevention. *PLoS One.* 2008;3(2):1545. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001545>
52. Leeson S, Summers JD. *Nutrition of the Chicken*, 4th ed. Canada: Univ. Books; 2001:608 p.
53. Leeson S. Trace mineral requirements of poultry-validity of the NRC recommendations. In: Taylor-Pickard JA, Tucker LA, editors. *Re-defining Mineral Nutrition.* Nottingham: Nottingham Univ. Press; 2005:107-117.
54. Manangi MK, Hampton T, Fisher P, Richards JD, Vazquez-Anon M, Christensen KD. Impact of feeding lower levels of chelated minerals vs. Industry levels of inorganic trace minerals on broiler performance, yield, foot pad health, and litter minerals concentration. *International Poultry Scientific Forum. Southern Poultry Science Society (SPSS) Annual Meeting and the Southern Conference on Avian Diseases Annual Meeting; Atlanta, GA. January 24-25, 2010. Atlanta; 2010:122-127.*
55. National Research Council. *Nutrient Requirements of Poultry*, ninth revised edition, Washington, DC: The National Academies Press; 1994:176 p. doi: <https://doi.org/10.17226/2114>
56. Navidshad B, Mohammadrezaei M, Zarei M, Valizadeh R, Karamati S, Rezaei F, Jabbari S, Kachoei R, Esmaeilinasab P. The new progresses in trace mineral requirements of broilers, a review. *Iranian Journal of Applied Animal Science.* 2019;9(1):9-16.
57. Nollet L, van der Klis JD, Lensing M, Spring P. The effect of replacing inorganic with organic trace minerals in broiler diets on productive performance and mineral excretion. *J Appl Poult Research.* 2007;16(4):592-597. doi: <https://doi.org/10.3382/japr.2006-00115>
58. Pesti GM, Bakallli RI. Studies on the feeding of cupric sulfate pentahydrate and cupric citrate to broiler chickens. *Poult. Sci.* 1996;75(9):1086-1091. doi: 10.3382/ps.0751086
59. Pollitt E, Leibel RL. Iron deficiency and behavior. *J Pediatr.* 1976;88(3):372-381. doi: 10.1016/S0022-3476(76)80250-8
60. Reichmann H, Janetzky B, Riederer P. Iron-dependent enzymes in Parkinson's disease. *J Neural Transm Suppl.* 1995;46:157-164.
61. Richards JD, Zhao J, Harrell RJ, Atwell CA, Dibner JJ. Trace Mineral Nutrition in Poultry and Swine. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences.* 2010;23(11):1527-1534. doi: 10.5713/ajas.2010.r.07
62. Scott A, Vadalasetty KP, Łukasiewicz M, Jaworski S, Wierzbicki M, Chwalibog A, Sawosz E. Effect of different levels of copper nanoparticles and copper sulphate on performance, metabolism and blood biochemical profiles in broiler chicken. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition.* 2018;102(1): e364-e373. doi: 10.1111/jpn.12754
63. Shim MY, Karnuah AB, Mitchell AD, Anthony NB, Pesti GM, Aggrey SE. The effects of growth rate on leg morphology and tibia breaking strength, mineral density, mineral content, and bone ash in broilers. *Poult Sci.* 2012; 91(8):1790-1795. doi: 10.3382/ps.2011-01968

64. Sirri F, Maiorano G, Tavaniello S, Chen J, Petracci M, Meluzzi A. Effect of different level of dietary zinc, manganese, and copper from organic or inorganic sources on performance, bacterial chondro necrosis, intramuscular collagen characteristics, and occurrence of meat quality defects in broiler chickens. *Poult Sci.* 2016;95(8):1813-1824. doi: 10.3382/ps/pew064
65. Świątkiewicz S, Arczewska-Włosek A, Jozefiak D. The efficacy of organic minerals in poultry nutrition: review and implications of recent studies. *World Poult Sci J.* 2014;70(3):475-486. doi: 10.1017/S0043933914000531
66. Taschetto D, Vieira SL, Angel CR, Stefanello C, Kindlein L, Ebbing MA, Simões CT. Iron requirements of broiler breeder hens. *Poultry Science.* 2017;96(11):3920-3927. doi: <https://doi.org/10.3382/ps/pex208>
67. Underwood EJ, Suttle NF. *The Mineral Nutrition of Livestock.* 3rd ed. CAB Int. Wallingford; 1999:614 p.
68. Van der Klis JD, Kemme PA. An appraisal of trace elements: inorganic and organic. In: McNab, JM, Boorman KN, editors. *Poultry feedstuffs: supply, composition, and nutritive value.* Wallingford: CABI Publishing; 2002. p. 99-108.
69. Virden WS, Yeatman JB, Barber SJ, Zunnwalt CD, Ward TL, Johnson AB, Kidd MT. Hen mineral nutrition impacts progeny livability. *J Appl Poult Res.* 2003;12(4):411-416.
70. Wang G, Liu L, Wang Z, Pei X, Tao W, Xiao Z, Liu B, Wang M, Lin G. Comparison of inorganic and organically bound trace minerals on tissue mineral deposition and fecal excretion in broiler breeders. *Biol Trace Elem Res.* 2019;189(1):224-232. doi: 10.1007/s12011-018-1460-5
71. Whitehead CC, Fleming RH, Julian R, Sorensen P. Skeletal problems associated with selection for increased production. In: Muir WM, Aggrey SE, editors. *Poultry genetics, breeding and biotechnology.* Wallingford: CABI Publishing; 2003. p. 29-52.
72. Zuidhof MJ, Schneider BL, Carney VL, Korver DR, Robinson FE. Growth, efficiency, and yield of commercial broilers from 1957, 1978, and 2005. *Poult Sci.* 2014;93(12):2970-2982. doi: <https://doi.org/10.3382/ps.2014-04291>

#### References

1. Aksenov R, Trifonov G. The effect of selenium-containing preparations on the reproductive qualities of roosters. *Poultry Farming.* 2004;(3):4-5.
2. Alikaev VA. The most effective mixtures of microelements for poultry. *Livestock Science (Bulgaria).* 1972;(9):11-12.
3. Fisinin VI, Okolelova TM, Egorov IA et al. Biologically active and feed additives in poultry farming: method. recommendations. Sergiev Posad: Russian Research and Technology Institute of Poultry; 2009:99 p.
4. Medvedsky VA, Bazylev MV, Bolshakova LP, Munayar HF. Biological bases of mineral nutrition poultry. *Scientific Review. Biological Sciences.* 2016;(2):93-108.
5. Nikolaev SI, Sohkin YuV, Karapetyan AK, Krotova OE. Different structures diet influence on laying hens productive quality. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex.* 2013;1(29):107-111.
6. Georgievsky VI, Annenkov BN, Samokhin VT. *Mineral nutrition of animals.* Moscow: Kolos; 1979:471 p.
7. Georgievsky VI, Zharova EP. The first All-Union symposium on mineral metabolism and its regulation in farm animals. Borovsk; 1973: 44.
8. Golubkina NA, Papazyan TT. *Selenium in nutrition: plants, animals, man: monograph.* Moscow: Bely gorod; 2006:254 p.
9. Egorova IA. Modern trends in poultry nutrition. *Poultry Farming.* 2014;4:11-16.
10. Kalnitsky BD. *Mineral substances in animal feeding: monograph.* Leningrad: Leningrad «Agropromizdat»; 1985:207 p.
11. Kalnitsky BD, Kharitonov YeL. To a problem on a setting of an amino acids feeding of milk cows. *Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences.* 2004;3:24-26.

12. Kwan OV. The effect of probiotic preparations based on the culture of *Bacillus subtilis* and *Bifidobacterium longum* on the productivity, metabolism and mineral status of the body of laying hens: abstract of the dissertation Candidate of Biological Sciences. Orenburg; 2007:23 p.
13. Kochish II, Petrash MG, Smirnov SB. Poultry farming: textbook. manual. Moscow: Kolos; 2004:407 p.
14. Kurshakova EI. The use of sorbents for the prevention of toxicosis and improving the productivity of animals: abstract of the dissertation, Candidate of Biological Sciences. Kazan; 2014:23 p.
15. Lebedev SV. Elemental status, energy exchange and productivity of chickens in conditions of various nutrient security. [dissertation]. Orenburg; 2009:346 p.
16. Lyutykh O. The big role of trace elements. *Effective Animal Husbandry*. 2020;4(161):95-99.
17. Marketing research: Premixes market for 2013-2016. OGAU "Innovation and Consulting Center of the agro-industrial complex of the Belgorod region". Belgorod; 2017:31 p.
18. Lebedev SV, Rakhmatullin ShG, Grechushkin AI, Sizova EA. Mineral status of animal organism on the background of different nutrient provision. *Vestnik Orenburg State University*. 2009;6:201-203.
19. Kalashnikov AP, Kleimenov NI, Bakanov VN, et al. Norms and rations of feeding of farm animals: reference. Manual. Moscow: Agropromizdat; 1985:352 p.
20. Sheiko IP, Radchikov VF, Sakhanchuk AI, Linkevich SA, Kot EG, Voronin S, Voronin D, Fesina V. Organization of complete feeding of farm animals using organic microelements. *Zootekhnika*. 2015;(1):14-17.
21. Gazeev AR, Tamimdarov BF, Gataullina LR, Usoltseva II, Gasanov AS, Aliev MSh. Application of microelements iron and selenium in poultry. *Scientific notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2012;210:41-45.
22. Shenderov BA, Manvelova MA, Stepanchuk YB, Skiba NE. Probiotics and functional food. *Antibiotics and chemotherapy*. 1997;7(42):30-34.
23. Shkarin VV, Chubukova OA, Blagonravova AS, Sergeeva AV. Problematic issues of combined intestinal infections. *Journal Infectology*. 2016;8(4):11-19. doi: 10.22625/2072-6732-2016-8-4-11-19
24. Rakhmatullin ShG. Influence of the nutrient supply of the diet on the mineral status and productivity of broiler chickens. *Trace Elements in Medicine*. 2008;9(1-2):27-28.
25. Rakhmatullin ShG. Metabolism and elemental status of broiler chickens at different levels of metabolic energy and the content of trace elements in the diet: abstract dissertation candidate of Biological Sciences. Orenburg; 2009:23 p.
26. Sizova EA, Nechitailo KS. Comparative assessment of the effect of ultrafine forms of copper and zinc on the digestibility of dry matter in vitro. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2020;103(1):121-133. doi: 10.33284/2658-3135-103-1-121
27. Skalny AV, Rudakov IA. Bioelements in medicine: textbook. manual. Moscow: Publishing House "ONYX 21 vek"; 2004:272 p.
28. Sobolev AI. Development of norms for the introduction of selenium in mixed feed for poultry of the meat direction of productivity: abstract dissertation of the Doctor of Agricultural Sciences. Kursk; 2013:42 p.
29. Ukhtverov M, Kuznetsova A, Ulyanova Yu. The intake of trace elements in the body of broiler chickens. *Poultry Farming*. 2000;(2):24-25.
30. Fisinin VI, Egorov IA, Draganov IF. Feeding agricultural poultry: a textbook. Moscow: GE-OTAR-Media; 2011:337 p.
31. Shatskikh EV, Rogozinnikova IV. Efficiency of chickens-broilers at use in a prestarting diet of organic forms of microcells. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2008;11(53):83-84.
32. Miroshnikov SA, Lebedev SV, Sizova EA, Rakhmatullin ShG. The effect of various level of metabolizable energy intake on mineral status in broiler chickens. *Problems of Biology of Productive Animals*. 2009;3:63-68.

33. Abbasi M, Zaghari M, Ganjkanlo M, Khalaji S. Is dietary iron requirement of broiler breeder hens at the late stage of production cycle influenced by phytase supplementation? *Journal of Applied Animal Research*. 2015; 43(2):166-176. doi: 10.1080/09712119.2014.928634
34. Adamovic M, Jovanovic R, Stoicevic LJ, Radovanovic M, Sretenovic LJ, Pavlicevic A, Vukic-Vranjes M. Rezultati korišćenja organs kivezanih mikroelemenat auishranigoveda. VII Simpozijum Tehnologija Stočne Hrane. 1997:49-66.
35. Aksu T, Aksu MI, Yoruk MA, Karaoglu M. Effects of organically- complexed minerals on meat quality in chickens. *British Poultry Science*. 2011a;52(5):558-563. doi: <https://doi.org/10.1080/00071668.2011.606800>
36. Aksu T, Özsoy B, Aksu DS, Yörük MA, Gül M. The effects of lower levels of organically complexed zinc, copper and manganese in broiler diets on performance, mineral concentration of tibia and mineral excretion. *Kafkas Univ. Vet Fak Derg*. 2011b;17(1):141-146. doi: 10.9775/kvfd.2010.2735
37. Ammerman CB, Henry PR, Miles RD. Supplemental organically-bound mineral compounds in livestock nutrition. In: Garnsworthy PC, Wiseman J, editors. *Recent Advances in Animal Nutrition*. UK, Nottingham: Nottingham University Press; 1998. p. 67-91.
38. Bao YM, Choct M, Iji PA, Bruerton K. Effect of organically complexed copper, iron, manganese, and zinc on broiler performance, mineral excretion, and accumulation in tissues. *J Appl Poult Res*. 2007;16(3):448-455. doi: <https://doi.org/10.1093/japr/16.3.448>
39. Bhojar A. High quality trace minerals support improved breeder hen longevity. *Int. Hatch. Pract*. 2015;29(7):25-27.
40. Bremner I, Beattie JH. Copper and zinc metabolism in health and disease: speciation and interactions. *Proceedings of the Nutrition Society*. 1995;54(2):489-499. doi: 10.1079/pns19950017
41. Dibner J. Early nutrition of zinc and copper in chicks and poults: impact on growth and immune status. In: Zimmermann N, editor. *Proceedings of the 3rd Mid-Atlantic Nutrition Conference*; 2005 March 23-24; Timonium, Maryland: University of Maryland; 2005. p. 23-32.
42. Dibner JJ, Richards JD, Kitchell ML, Quiroz MA. Metabolic challenges and early bone development. *Journal of Applied Poultry Research*. 2007;16(1):126-137. doi: <https://doi.org/10.1093/japr/16.1.126>
43. Dinev I, Denev SA, Edens FW. Comparative clinical and morphological studies on the incidence of tibial dyschondroplasia as a cause of lameness in three commercial lines of broiler chickens. *Journal of Applied Poultry Research*. 2012;21(3):637-644. doi: <https://doi.org/10.3382/japr.2010-00303>
44. Duggan BM, Hocking PM, Schwarz T, Clements DN. Differences in hindlimb morphology of ducks and chickens: effects of domestication and selection. *Genet Sel Evol*. 2015;47:88. doi: 10.1186/s12711-015-0166-9
45. González-Cerón F, Rekaya R, Aggrey SE. Genetic analysis of bone quality traits and growth in a random mating broiler population. *Poult Sci*. 2015;94(5):883-889. doi: <https://doi.org/10.3382/ps/pev056>
46. Grandin T. Auditing animal welfare at slaughter plants. *Meat Sci*. 2010;86(1):56-65. doi: 10.1016/j.meatsci.2010.04.022
47. Grassman E, Kirchgessner M, Hampel G, Roth-maier DA. Copper metabolism in growing chickens. *Archiv fur Geflugelkunde*. 1971;35(2):67-71.
48. Guo R, Henry PR, Holwerda RA, Cao J, Littell RC, Miles RD, Ammerman CB. Chemical characteristics and relative bioavailability of supplemental organic copper sources for poultry. *Journal of Animal Science*. 2001;79(5):1132-1141. doi: 10.2527/2001.7951132x
49. Inal F, Coskun B, Gülsen N, Kurtoglu V. The effects of withdrawal of vitamin and trace mineral supplements from layer diets on egg yield and trace mineral composition. *Br Poult Sci*. 2001;42(1):77-80. doi: 10.1080/713655024
50. Jokic Ž, Kovcin S, Joksimovic-Todorovic M. *Ishranaživine*. Poljoprivrednifakultet, Beograd: University Press; 2004.
51. Knowles TG, Kestin SC, Haslam SM, Brown SN, Green LE, Butterworth A, Pope SJ, Pfeiffer D, Nicol CJ. Leg disorders in broiler chickens: prevalence, risk factors and prevention. *PLoS One*. 2008;3(2):1545. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001545>

52. Leeson S, Summers JD. Nutrition of the Chicken, 4th ed. Canada: Univ. Books; 2001:608 p.
53. Leeson S. Trace mineral requirements of poultry-validity of the NRC recommendations. Taylor-Pickard JA, Tucker LA, editors. Re-defining Mineral Nutrition, Nottingham: Nottingham Univ. Press; 2005:107-117.
54. Manangi MK, Hampton T, Fisher P, Richards JD, Vazquez-Anon M, Christensen KD. Impact of feeding lower levels of chelated minerals vs. Industry levels of inorganic trace minerals on broiler performance, yield, foot pad health, and litter minerals concentration. International Poultry Scientific Forum. Southern Poultry Science Society (SPSS) Annual Meeting and the Southern Conference on Avian Diseases Annual Meeting; Atlanta, GA. 2010 January 24-25, Atlanta; 2010:122-127.
55. National Research Council. Nutrient Requirements of Poultry, ninth revised edition, Washington, DC: The National Academies Press; 1994:176 p. doi: <https://doi.org/10.17226/2114>
56. Navidshad B, Mohammadrezaei M, Zarei M, Valizadeh R, Karamati S, Rezaei F, Jabbari S, Kachoei R, Esmaeilinasab P. The new progresses in trace mineral requirements of broilers, a review. Iranian Journal of Applied Animal Science. 2019;9(1):9-16.
57. Nollet L, van der Klis JD, Lensing M, Spring P. The effect of replacing inorganic with organic trace minerals in broiler diets on productive performance and mineral excretion. J Appl Poult Research. 2007;16(4):592-597. doi: <https://doi.org/10.3382/japr.2006-00115>
58. Pesti GM, Bakallli RI. Studies on the feeding of cupric sulfate pentahydrate and cupric citrate to broiler chickens. Poult. Sci. 1996;75(9):1086-1091. doi: 10.3382/ps.0751086
59. Pollitt E, Leibel RL. Iron deficiency and behavior. J Pediatr. 1976;88(3):372-381. doi: 10.1016/S0022-3476(76)80250-8
60. Reichmann H, Janetzky B, Riederer P. Iron-dependent enzymes in Parkinson's disease. J Neural Transm Suppl. 1995;46:157-164.
61. Richards JD, Zhao J, Harrell RJ, Atwell CA, Dibner JJ. Trace Mineral Nutrition in Poultry and Swine. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 2010;23(11):1527-1534. doi: 10.5713/ajas.2010.r07
62. Scott A, Vadalasetty KP, Łukasiewicz M, Jaworski S, Wierzbicki M, Chwalibog A, Sawosz E. Effect of different levels of copper nanoparticles and copper sulphate on performance, metabolism and blood biochemical profiles in broiler chicken. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. 2018;102(1): e364-e373. doi: 10.1111/jpn.12754
63. Shim MY, Karnuah AB, Mitchell AD, Anthony NB, Pesti GM, Aggrey SE. The effects of growth rate on leg morphology and tibia breaking strength, mineral density, mineral content, and bone ash in broilers. Poult Sci. 2012; 91(8):1790-1795. doi: 10.3382/ps.2011-01968
64. Sirri F, Maiorano G, Tavaniello S, Chen J, Petracci M, Meluzzi A. Effect of different level of dietary zinc, manganese, and copper from organic or inorganic sources on performance, bacterial chondro necrosis, intramuscular collagen characteristics, and occurrence of meat quality defects in broiler chickens. Poult Sci. 2016;95(8):1813-1824. doi: 10.3382/ps/pew064
65. Świątkiewicz S, Arczewska-Włosek A, Jozefiak D. The efficacy of organic minerals in poultry nutrition: review and implications of recent studies. World Poult Sci J. 2014;70(3):475-486. doi: 10.1017/S0043933914000531
66. Taschetto D, Vieira SL, Angel CR, Stefanello C, Kindlein L, Ebbing MA, Simões CT. Iron requirements of broiler breeder hens. Poultry Science. 2017;96(11):3920-3927. doi: <https://doi.org/10.3382/ps/pex208>
67. Underwood EJ, Suttle NF. The Mineral Nutrition of Livestock. 3rd ed. CAB Int. Wallingford; 1999:614 p.
68. Van der Klis JD, Kemme PA. An appraisal of trace elements: inorganic and organic. In: McNab, JM, Boorman KN, editors. Poultry feedstuffs: supply, composition, and nutritive value. Wallingford: CABI Publishing; 2002. p. 99-108.
69. Virden WS, Yeatman JB, Barber SJ, Zunnwalt CD, Ward TL, Johnson AB, Kidd MT. Hen mineral nutrition impacts progeny livability. J Appl Poult Res. 2003;12(4):411-416.

70. Wang G, Liu L, Wang Z, Pei X, Tao W, Xiao Z, Liu B, Wang M, Lin G. Comparison of inorganic and organically bound trace minerals on tissue mineral Deposition and Fecal excretion in broiler breeders. *Biol Trace Elem Res.* 2019;189(1):224-232. doi: 10.1007/s12011-018-1460-5

71. Whitehead CC, Fleming RH, Julian R, Sorensen P. Skeletal problems associated with selection for increased productions. In: Muir WM, Aggrey SE, editors. *Poultry genetics, breeding and biotechnology.* Wallingford: CABI Publishing; 2003. p. 29-52.

72. Zuidhof MJ, Schneider BL, Carney VL, Korver DR, Robinson FE. Growth, efficiency, and yield of commercial broilers from 1957, 1978, and 2005. *Poult Sci.* 2014;93(12):2970-2982. doi: <https://doi.org/10.3382/ps.2014-04291>

**Рязанцева Кристина Владимировна**, аспирант 3-го года обучения, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января д. 29, e-mail: [reger94@bk.ru](mailto:reger94@bk.ru)

**Нечитайло Ксения Сергеевна**, аспирант 3-го года обучения, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января д. 29, e-mail: [k.nechit@mail.ru](mailto:k.nechit@mail.ru)

**Сизова Елена Анатольевна**, доктор биологических наук, руководитель центра «Нанотехнологии в сельском хозяйстве», Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29, тел.: 8-912-344-99-07, e-mail: [Sizova.L78@yandex.ru](mailto:Sizova.L78@yandex.ru)

Поступила в редакцию 19 февраля 2021 г.; принята после решения редколлегии 15 марта 2021 г.; опубликована 31 марта 2021 г. / Received: 19 February 2021; Accepted: 15 March 2021; Published: 31 March 2021